

## 765kV T/L 電線CREEP特性을 考慮한 架線 方案

장 문 명 박 광 회 오 창 호 남 병 규  
한국전력공사 송변전건설처 송전전압격상추진반

### A PRACTICAL SAGGING METHOD TO ALLOW FOR CONDUCTOR CREEP OF 765KV TRANSMISSION LINE

M.M. JIANG K.H. PARK C.H. OH B.K. NAM  
U. H.V PROJECT TEAM, TRANSMISSION & SUBSTATION CONSTRUCTION DEPT, KEPCO

#### 1.개 요

한전에서는 1988년 준공목표로 765kV 송전선로 1단계 사업 약340KM를 건설중에 있으며, 765kV 송전선로에 사용될 전선은 ACSR 480mm[Cardinal] 6도체로써 국내 최초로 SEMI-PREFAB 가선공법을 적용할 예정이다.

가공송전선의 이도는 전선의 특성과 경과지의 가선 설계조건에 의해 계산되는데, 온도신장이나 탄성신장과 달리 전선의 CREEP신장은 일정장력하에서도 시간의 경과와 함께 늘어나는 것으로 이를 고려하지 않고 가선할 경우 장기간 경과후에는 CREEP신장에 의한 이도 증가로 이격거리 미달이나 지상고 부족현상을 가져올 수 있다.

따라서 본 검토서에서는 KEPCO 765T/L용 전선의 CREEP특성을 검토하고 최종이도가 설계이도와 같게 되도록 CREEP신장량에 대한 이도증가분을 최초가선시(건설시)에 보정하여 가선하는 방안을 검토하고자 한다.

#### 2.전선의 신장 특성

일반적으로 전선의 신장은 온도상승에 비례하여 신장이 증가하는 온도신장, 장력증가에 비례하는 탄성신장, 전선재료의 물성에 의한 비탄성신장, 기타 시공신장등으로 대별할 수 있다. 이 중에서 탄성신장 및 온도신장은 이도계산시 이를 고려하여 계산하고 있고, 시공신장은 연선시에 거의 신장되므로 가선설계시에는 이를 고려하지 않는 것이 일반적이다.

비탄성신장은 初期伸張, 蠕性신장 및 CREEP신장등으로 구별되며, 초기신장은 주로 연선의 꼬임에 의해 발생하는 것으로 일반적인 전선에서는 가선시의 긴장하중에 의해 제거되고 가선후 이도특성에는 특히 문제되지는 않으며, 소성신장은 전선이 탄성한도를 초과하는 영역의 신장이므로 검토대상에서 제외 하였다.

CREEP신장은 전선이 탄성한도영역내의 응력에 있어서 어떤 일정응력을 갖고 있으면 시간과 함께 조금씩 신장이 생기는데 이것을 CREEP신장이라하며, 이 CREEP신장은 온도가 높을수록, 장력이 클수록 크게된다.

또 전선의 CREEP특성은 단선과 연선에 따라서도 다르나, 여기서는 가공송전선으로 대부분 사용되는 합성연선인 ACSR전선에 대해서만 언급하고자 한다.

전선의 신장은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\epsilon = \frac{T(t)}{EA} + \alpha[\theta(t) - \theta(0)] + \epsilon c(t) \quad \text{---식(1)}$$

$\epsilon$  : 연선의 신장                     $T$  : 장력  
 $E$  : 연선의 등가탄성계수         $A$  : 연선의 단면적  
 $\alpha$  : 연선의 등가선팽창계수     $\theta$  : 온도  
 $\epsilon c$  : 연선의 비탄성신장

식(1)의 첫번째항은 탄성신장, 두번째항은 온도신장, 세번째항이 비탄성신장을 나타낸다.

#### 3.CREEP 특성 및 추정식

##### 가.CREEP 발생단계

CREEP은 전선에 일정하중이 작용하면 우선 일정한 신장이 생기고 계속해서 시간과 함께 상당히 급속하게 증가하는 1차 CREEP(遷移CREEP), 일정하게 적은값을 취하는 2차 CREEP(定常 CREEP), 최후에 속도가 급속히 증가하여 파괴에 이르는 3차 CREEP(加速CREEP)의 3단계로 나눌 수 있다.

통상 천이CREEP은 연선 및 가간선 등안에 전선에 가해지는 장력에 의해 제거되며, 일반적인 송전선의 사용장력조건에서는 정상CREEP영역에서 가속CREEP영역으로 이행하지는 않으므로 송전선의 이도설계에서는 주로 정상CREEP만을 취급하여도 큰 문제는 없다.

##### 나.CREEP 추정식

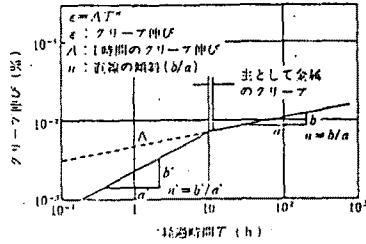
전선의 CREEP특성은 시험에 의해 정확하게 구할 수 있으나, 일반적으로 정상CREEP은 다음과 같은 경험식으로 나타낼 수 있다.

$$\epsilon = F \times T^n \quad \text{----식(2)}$$

$\epsilon$  : CREEP신장                     $F$  : 1시간의 CREEP신장  
 $T$  : 시간(h)                         $n$  : 직선의 경사

윗식은 CREEP 특성을 그림1과 같이 X축, Y축으로 대수표시하여 직선에 근사한 경우에 대해 1시간 경과후의 가상적인 CREEP신장을 F로 표시하고 직선의 기울기를 n으로 표시하는 근사식이다.

상수 F는 주어진 도체의 장력과 온도의 변화에 따라 변하지만, 상수 n은 전선재질과 CREEP메카니즘에 의한 것으로 장력과 온도의 일반적인 변화에는 같은 값을 유지한다.



〈그림1〉 전선의 전형적인 CREEP신장-시간곡선

#### 4. 온도, 장력 및 강비율에 대한 CREEP 특성

전선의 CREEP은 앞에서 언급한 바와 같이 온도 및 장력에 따라 변하고 ACSR과 같은 합성전선의 경우 AL과 강선의 CREEP특성차에 의해 강선비율에 따라 서로 변하게 된다.

##### 가. 강비율과 CREEP

전선 전체중량중 강선중량이 차지하는 비율과 CREEP의 관계를 나타내는 것으로, CREEP계수로는 강선의 비율이 전체의 20%인 ACSR연선의 CREEP을 1로 하였을 때, 강선의 비율이 W인 ACSR의 CREEP비율을 표시한 것으로 CREEP계수 Cf는

$$Cf = 1.212 - 1.06 \frac{W}{100} \quad \text{----식 (3) 이 된다.}$$

##### 나. 장력과 CREEP

장력과 CREEP의 관계로 어느 장력 P에 있어서 CREEP은 20xUTS의 CREEP에 장력P때의 CREEP계수를 곱한 치로 된다. ACSR의 경우 CREEP계수 Cp는

$$Cp = 0.0319 \times P^{1.15} \quad \text{----식 (4) 이 된다}$$

##### 다. 온도와 CREEP

어느 온도 t에 대한 CREEP은 20℃에 대한 CREEP에 CREEP계수 Ct를 곱한 치로 된다. ACSR의 경우 CREEP계수 Ct는

$$Ct = 0.0319t^{1.15} \quad \text{----식 (5) 가 된다.}$$

##### 라. 변경 CREEP 추정식

장력, 온도 및 강비율에 대한 CREEP특성을 고려하면 식(2)의 CREEP추정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon = Cf \times Cp \times Ct \times F \times T^n \quad \text{----식(6)}$$

#### 5. 765kV T/L용 전선의 CREEP 특성

우리나라에는 아직 전선의 CREEP특성 시험 DATA가 없으므로 식(2)~(6)의 CREEP추정식을 이용하여 765kV T/L용 전선인 ACSR480mm<sup>2</sup> [CARDINAL]에 대한 CREEP특성을 구하고자 한다.

##### 가. Cardinal의 CREEP특성 추정

참고문헌[2]의 CREEP특성시험DATA로부터 스페인에서 시험한 전선(AL:54/3.08, ST 7/3.08)이 Cardinal(AL:54/3.38, ST:7/3.38)과 소선구성등에서 비교적 가깝고 장력이나 시험온도등에서 적용이 용이하므로 이를 기준전선으로 하고자 한다.

#### ※ 기준전선 CREEP시험 DATA

-전선구성 : AL 54/3.08 ST 7/3.08 Properzi Rod

-시험시간 : 25800hr

-상 수 :  $\epsilon = 40 T^{0.2}$

-시험장력 : 20.5xUTS

-시험온도 : 15℃

-CREEP량 : 10년 246, 20년 390, 30년 485(μStrain)

식(4)에 의한 장력과 CREEP특성을 계산하기 위해 년중 가장 빈도수가 높은 가선장력 즉 EDS(EVERY DAY STRESS : 10℃, 우풍, 무설시의 장력)를 765kV T/L 평균경간 부근에서 구하면 표1과 같다.

표1 765kV T/L EDS 장력 계산 결과

구분	3지역	2지역	다설지역	중다설지역	
450m	2927	2524	2081	1895	
500m	3024	2465	2045	1868	
550m	2951	2515	2086	1849	
평균	장력 (kgf)	2987	2501	2071	1871
	xUTS	19.5x	16.3x	13.5x	12.2x

식 (6)의 적용을 위해 기준전선에 대한 Cf, Cp, Ct의 비율 구하면 아래와 같다.

표2 온도, 장력별 및 강비율에 의한 계수 산출

전선	구성	강비율(중량)		온도변화	
		W	Cf	t	Ct
기준전선 (A)	54/3.08	26.8x	0.928	15	0.9605
	7/3.08				
Cardinal (B)	54/3.38	26.8x	0.928	10	0.921
	7/3.38				
(B)/(A)			1.00		0.959

전선	장력변화							
	P(xUTS)				Cp			
기준전선 (A)	20.5				1.0287			
Cardinal (B)	III	II	다설	중다	III	II	다설	중다
	19.5	16.3	13.5	12.2	0.971	0.79	0.636	0.566
(B)/(A)					0.944	0.768	0.618	0.550

식(6)을 이용하여 Cardinal CREEP특성을 추정하면 기준전선의 CREEP특성이 F=40, n=0.2이므로 III지역의 경우,

$$\epsilon(III) = 1 \times 0.959 \times 0.944 \times 40 \times T^{0.2} = 36.21 T^{0.2}$$

--식(7)이 되고,

같은 방법으로 II지역  $\epsilon(II)$ , 다설지역  $\epsilon(다설)$  및 중다설지역  $\epsilon(중다설)$  CREEP특성은

$$\epsilon(II) = 29.46 T^{0.2} \quad \text{----식(8)}$$

$$\epsilon \text{ (다설)} = 23.71 T^{0.2} \text{ ---식(9)}$$

$$\epsilon \text{ (중다설)} = 21.1 T^{0.2} \text{ ---식(10)과 같이 된다.}$$

#### 나. CREEP 신장량 계산

CREEP신장량은 CREEP신장 평가시간을 정한후 이 기간에 일어나는 신장량으로 계산해야 하는데 미국과 캐나다의 경우 CREEP신장을 포함, 가선후 10년이 지났을 때의 이도를 최종이도로 하고 있고, 일본의 경우 10<sup>5</sup>시간[약11.4년]을 평가시간으로 추천하고 있으므로 KEPCO 765kV T/L의 CREEP평가시간은 이들 세나라의 시간과 비슷한 10<sup>5</sup>시간[약11.4년]을 적용하기로 한다.

식 (7) ~ (10)을 이용하여 10<sup>5</sup>시간에 대한 CREEP신장량을 계산하면 표3과 같다.

표3 Cardinal 지역별 CREEP신장량 (μStrain)

평가시간	III지역	II지역	다설지역	중다설지역
10 <sup>5</sup> 시간	362	295	237	211

표3을 분석하면 상시장력(EDS장력)이 많이 걸리는 지역(III지역)일수록 장기간의 CREEP신장이 크고, 중하중 지역은 상시장력이 적게걸리도록 가선하므로 상대적으로 CREEP신장은 적게됨을 알 수 있다

### 6. CREEP특성을 보정한 가선이도 검토

CREEP특성을 이도계산후 별도로 보정하기 위한 가선이도계산방법으로는 『등가보정온도에 의한 방법』과 『CREEP신장 이도증가분배에 의한 보정 방법』으로 나눌 수 있다.

#### 가. 등가보정온도에 의한 보정

이 방법은 아래와 같이 CREEP신장량을 등가보정온도로 환산시켜 가선시 이 온도만큼 낮게 가선함으로써 CREEP신장을 보정하여 주는 방법으로 비교적 간단하게 적용할 수 있다.

$$\text{가선시 적용온도} = \text{가선시 대기온도} - \text{등가보정온도}$$

$$\text{※ 등가보정온도} = \text{CREEP신장량} / \text{전선선평창계수}$$

표3의 Cardinal 전선 CREEP신장량을 등가보정온도로 환산하면 표4와 같다.

표4 Cardinal 전선의 등가보정온도

지역구분	CREEP 신장 (μSTRAIN)	선평창계수 (× 10 <sup>-6</sup> /℃)	등가보정온도
3지역	362	19.53	18.5℃
2지역	295	19.53	15.1℃
다설지역	237	19.53	12.1℃
중다설지역	211	19.53	10.8℃

#### 나. CREEP신장 이도증가분배에 의한 보정

이 방법은 전체 CREEP신장량에서 연선후 긴선까지의 가린선 기간동안에 일어나는 CREEP신장량을 공제한 신장량의 이도증가분배를 긴선시에 보정하여 가선하는 방법으로 비교적 정확한 가선설계를 할 수 있으나 매 경간에 대한 전선실장을 계산해야 하는등 적용상 다소 불편한 점이 있다.

$$\text{긴선이도} = \text{최종(목표)이도} - \text{보정해야 할 이도량}$$

※보정해야 할 이도량 Δd는 다음식으로 계산함

$$\Delta d = 1.5 \times \frac{T}{W \times S} \times [L \times \Delta \epsilon]$$

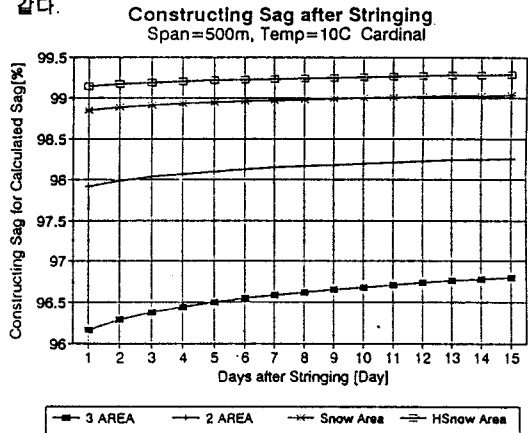
T : 초기가선시 전선의 수평장력(kgf)

W : 전선자중(kg/m) S : 경간(m)

L : 초기가선시 전선실장(m)

Δε : 긴선후 최종이도계산시점까지의 CREEP신장량

이 방식으로 765kV T/L의 지역별 표준경간에 대한 연선후 긴선까지의 시간에 대한 가선이도는 그림2와 같다.



#### 다. 해외의 CREEP특성 보정 현황

미국과 캐나다의 경우, 비탄성신장을 고려한 각 전선의 STRESS-STRAIN CURVE를 이도장력계산시에 반영하고 10년 CREEP신장의 이도를 Final Sag로 적용하고 있다.

일본의 경우, 이격검토나 Prefab가선용 전선실장 계산시에는 전선규격에 관계없이 일률적으로 0.01x(100 μStrain)를 적용하는 것이 일반적이며, 기타 가선설계시에는 평가년수 10<sup>5</sup>시간의 CREEP량에서 100시간에 대한 상온의 20xUTS CREEP신장을 공제한 CREEP신장량의 이도 증가분배를 가선시에 보정하는 것으로 한다.

또 영국의 경우 초기(1957년전)에는 가선시 설계장력에 일정율의 Over tension(8~15x)으로 가선하였는데 이 허용치가 충분하지 않아 1957년 이후에는 CREEP보정을 추가하였으며, CREEP신장분배를 등가보정온도로 환산, 보정한다.

라. 보정방식 결과 비교

표5는 CREEP신장 이도증가분에 의한 보정방법과 등가 보정온도에 의한 보정방법의 개선이도를 비교한 것으로 등가보정온도에 의한 방법이 최초 개선시 다소 세계 개선되어야 함을 알 수 있는데 그 이유는 등가보정온도로 CREEP신장을 보정할 경우 연선후 긴선까지의 시간에 대한 CREEP신장량이 포함되지 않은 것으로 생각된다.

표5 CREEP특성 보정방식별 개선이도 비교

구 분	3지역	2지역	다설 지역	중다설 지역
기준이도(m) [10℃, 무풍]	19.0	23.3	28.0	30.7
개선 이도 (m) CREEP신장 이도 증가분 보정 등가보정온도 보정	18.3	22.8	27.8	30.5
	18.2	22.7	27.7	30.4

- 주) 1. RULLING SPAN 500m, 10℃, 무풍 무설  
 2. CREEP신장 이도증가분에 의한 개선이도는 연선 1주일 후 긴선 기준임.

7. 결 론

KEPCO 765kV T/L용 전선인 ACSR480㎟[CARDINAL]의 CREEP특성은 해외의 유사전선 시험DATA를 이용하여 CREEP계산식을 예측하였고, 평가시간 10<sup>5</sup>[약11.4년]을 기준으로 CREEP신장량을 계산토록 하였다.

표6 ACSR480㎟ [CARDINAL] CREEP특성

지역구분	CREEP계산식 ( $\mu$ Strain)	CREEP신장량 ( $\mu$ Strain) (10 <sup>5</sup> 시간기준)
3지역	$\epsilon$ (III) = 36.21 T <sup>0.2</sup>	362
2지역	$\epsilon$ (II) = 29.46 T <sup>0.2</sup>	295
다설지역	$\epsilon$ (다) = 23.71 T <sup>0.2</sup>	237
중다설지역	$\epsilon$ (중다) = 21.1 T <sup>0.2</sup>	211

CREEP특성을 보정하기 위한 개선방안으로 두방식중 비교적 정확한 계산이 가능한 『CREEP신장 이도증가분에 의한 보정 방법』을 적용하기로 하였으며, 이 방식으로 765kV T/L 표준경간에 대하여 하중지역별 건설시 개선이도를 계산하면 표7과 같다.

표7을 분석하면 동일경간이라도 상시 큰 이도를 갖는 지역(다설 또는 중다설지역)에서는 상시장력이 적게 걸리므로 CREEP과 장력특성에서와 같이 CREEP신장이 적게되어 초기개선이도는 최종이도와 큰 차이는 없으나, 일반지역인 2 또는 3지역의 경우 최종이도 보다

2~4x정도 세계 개선되어야 함을 알 수 있다.

표7 765kV T/L 건설시 개선이도

지역 구분	경간 (m)	최종이도 (m)	연선후 긴선까지 시간			
			1일 (24hr)	3일 (72hr)	7일 (168hr)	15일 (360hr)
3지역	400	12.02	11.28	11.32	11.36	11.40
	500	18.97	18.27	18.29	18.33	18.37
	600	27.38	26.65	26.69	26.73	26.77
2지역	400	14.06	13.55	13.57	13.60	13.63
	500	23.28	22.79	22.81	22.84	22.87
	600	33.30	32.81	32.84	32.87	32.89
다설 지역	400	17.22	16.89	16.91	16.92	16.94
	500	28.06	27.73	27.75	27.77	27.79
	600	40.00	39.68	39.70	39.72	39.74
중다설 지역	400	18.98	18.70	18.72	18.73	18.75
	500	30.71	30.45	30.47	30.48	30.49
	600	45.02	44.76	44.78	44.79	44.81

아울러 KEPCO에서는 향후 PRE-FAB개선방식에 대비하고 우리나라에서 생산되는 전선에 대해 보다 정확한 CREEP특성을 파악하기 위해 각 전선의 CREEP특성시험도 추진할 것을 검토중에 있다.

<참고문헌>

1. 일본전기학회 「전기학회 기술보고 제47호」 1993.11
2. ELECTRA NO.24 「A PRACTICAL METHOD OF CONDUCTOR CREEP DETERMINATION」
3. JOHN R. HARVEY 「CREEP OF TRANSMISSION LINE CONDUCTOR」
4. J. Bradbury 「LONG-TERM CREEP ASSESSMENT FOR OVERHEADLINE CONDUCTOR」
5. J.R Smith 「OVERHEAD LINE CONDUCTOR TENSION AND SAGS」
6. 送電線建設技術研究會(北海道支部) 「送電線路의 架線計算」
7. PTI 「ADVANCED TRANSMISSION LINE DESIGN COURSE」
8. 「ELECGRAMA-90」 90.1